

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИДА ТИТАНА

*Гвоздева О.Н., Пожого В.А., Умарова О.З.*

*Руководитель – проф., д.т.н. Скворцова С.В.*

ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского», г. Москва

**zeramful@gmail.com**

В работе показано, что обратимое легирования водородом опытного жаропрочного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0.5Zr позволяет осуществлять прокатку при температурах 950-850°C, что на 100-150°C ниже, чем для сплавов данного класса, а изменение режимов вакуумного отжига позволяет изменять его структуру: от близкой к глобулярной до бимодальной. По значениям прочности и пластичности он не уступает существующим жаропрочным сплавам на основе  $\alpha_2$ - фазы.

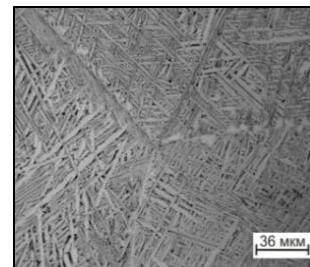
На сегодняшний день наиболее предпочтительными материалами для деталей компрессоров высокого давления (КВД), работающих при температурах до 700°C, взамен жаропрочным сталям, являются материалы на основе интерметаллидов титана ( $Ti_3Al(\alpha_2\text{-спл.})$ ,  $TiAl(\gamma\text{-спл.})$ ), обладающие более низкой плотностью. Однако традиционные технологии не позволяют получать у них широкий спектр структур и изменять комплекс механических свойств. Одним из решений данной проблемы может быть применение водородных технологий.

Для исследования влияния водорода на формирование структуры и технологическую пластичность был выбран опытный жаропрочный сплав на основе  $Ti_3Al$  (Ti-14Al-3Nb-3V-0.5Zr).

Методом вакуумно-индукционной плавки был получен слиток  $\varnothing 70\text{мм}$  и высотой = 450мм (рис 1а).



а)



б)

Рисунок 1. Внешний вид слитка из сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr (а) и его микроструктура (б)

В литом состоянии исследуемый сплав имеет «классическую» структуру, которая характеризуется крупными исходными  $\beta$ -зернами размером 200 – 300 мкм и расположенными внутри них пластинчатыми выделениями  $\alpha_2$ -фазы. Количество  $\beta$ -фазы в литом состоянии не велико и составляет около 5% (рис.1б).

Одной из задач работы является получение из опытного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr качественного листового полуфабриката толщиной 2 мм с равномерной по всему сечению хорошо проработанной структурой.

На первом этапе работы методом пробных закалок была определена температура  $\beta/(\alpha_2+\beta)$ -перехода ( $A_{c3}$ ), которая для исследуемого сплава составила 1150°C.

Сплавы на основе алюминидов титана имеют низкую технологическую пластичность, повышение которой происходит за счет увеличения в структуре количества  $\beta$ -фазы, что достигается введением в сплав водорода. Проведенные ранее исследования показали, что водород оказывает благоприятное пластифицирующее действие на различные группы титановых сплавов, в том числе и на интерметаллидной основе [1].

На следующем этапе работы были получены листы толщиной 2 мм из литых заготовок опытного сплава размером 30x150x18 мм, предварительно подвергнутых наводороживающему отжигу до 0,45%Н. Прокатку с толщины 18 до 9,5 мм проводили при температуре 950°C со степенью обжатия за проход 7-15% и подогревом после каждого прохода. Последующую прокатку до толщины 2 мм проводили при температуре 850°C по описанной выше схеме. Установлено, что легирование сплава 0,45% Н приводит к увеличению в структуре количества  $\beta$ -фазы без изменения пластинчатой морфологии  $\alpha_2$ -фазы (рис. 2а).

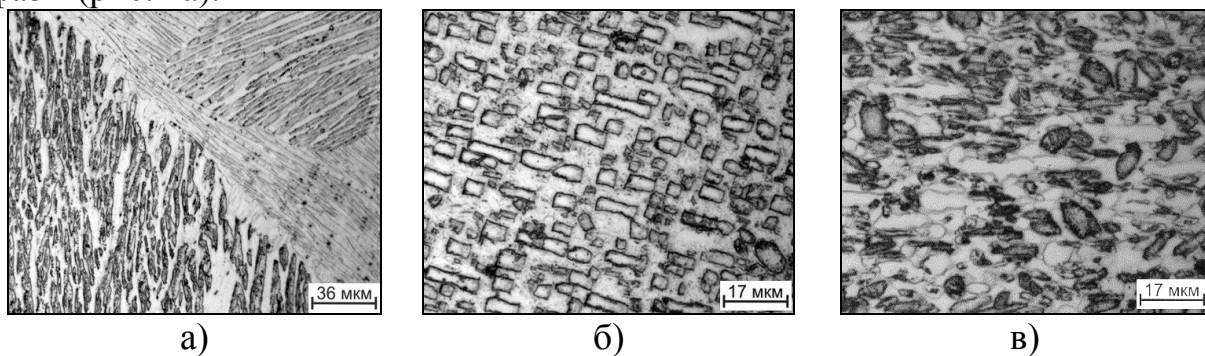


Рисунок 2. Микроструктура образцов опытного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0.5Zr после наводороживающего отжига (а) и после деформации при 950°C на 47% (б) и при 850°C на 75% (в)

Прокатка при температуре 950°C приводит к делению  $\alpha_2$ -пластин в процессе деформации перпендикулярно плоскости пластины (рис. 2б). Увеличение степени деформации при температуре 850°C приводит к

постепенному вовлечению в процесс деформации  $\alpha_2$ -частиц и приобретению ими формы, близкой к эллипсоидной (рис. 2в).

При проведении вакуумного отжига, служащим для удаления водорода до безопасных концентраций и формирования конечной структуры [2], было выбрано две схемы. Первая схема – это отжиг при температуре 900°C в течение 4 часов, когда преобладают процессы роста первичных  $\alpha_2$ -частиц, что приводит к формированию глобулярной структуры  $\alpha_2$ -фазы, разделенной тонкими прослойками  $\beta$ -фазы (рис. 3а). Вторая схема – низкотемпературное старение при 500°C в течение 3 часов, которое обеспечивает начальные этапы распада водородосодержащей  $\beta$ -фазы и формирование бимодальной структуры  $\alpha_2$ -фазы (рис. 3б), и последующее повышение температуры до 850°C с выдержкой в течение 5 часов.

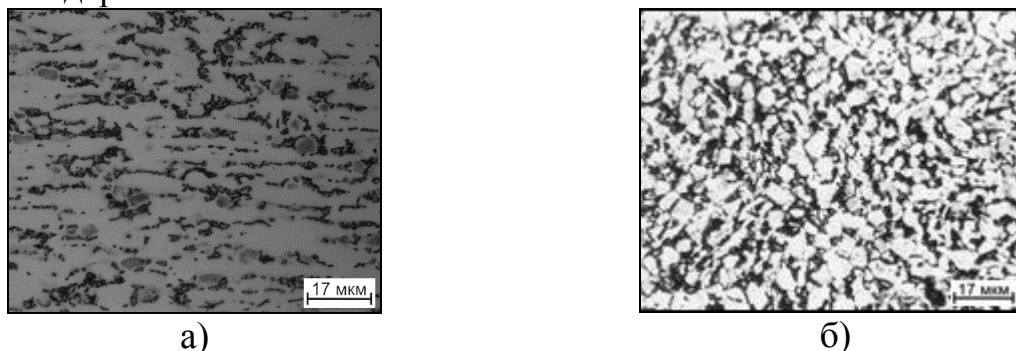


Рисунок 3. Микроструктура образцов из опытного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0.5Zr после одноступенчатого (а) и двухступенчатого (б) вакуумного отжига

Различие в структурном состоянии после вакуумного отжига приводит к получению различного уровня свойств образцов как при нормальной, так и при повышенной температурах. Образцы с равноосной глобулярной структурой  $\alpha_2$ -фазы характеризуются более низкими значениями прочности и пластичности по сравнению с образцами с бимодальной структурой (табл. 1).

Таблица 1 – Механические свойства опытного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0.5Zr при нормальной и повышенной температурах

Режим обработки	20°C				700°C			
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Н.О. при 900°C, $C_H=0,45\%$ , В.О. 900°C, 4 ч.	1190	1100	2,4	3,8	790	720	23,3	34,5
Н.О. при 900°C, $C_H=0,45\%$ , В.О. 500°C, 3ч. + 850°C, 5 ч.	1350	1210	3,5	5,0	850	770	30,0	39,1

Проведенные исследования показали, что термоводородная обработка позволяет получить листовой полуфабрикат из опытного жаропрочного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0.5Zr с равномерной по всему сечению хорошо проработанной структурой, а также сформировать в полуфабрикате различные типы структур с повышенным комплексом свойств как при нормальной, так и при повышенной температурах.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Носов В.К., Ильин А.А., Мамонов А.М., Овчинников А.В. Обоснование и опыт применения водородного пластифицирования при изготовлении полуфабрикатов и изделий из сплава на основе интерметаллида  $Ti_3Al$  // Технология легких сплавов. – 2002. – № 3. – С. 18-23.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Носов В.К., Мамонов А.М. Водородная технология титановых сплавов. М.: МИСИС, 2002, с.16-30.